

Я.І. ВИКЛЮК, канд. фіз.-мат. наук, НУ „Львівська політехніка”

ПОБУДОВА FUZZY-МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕКРЕАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЄВРОРЕГІОНУ «ВЕРХНІЙ ПРУТ»

Розроблено новий підхід розрахунку комплексної оцінки рекреаційного потенціалу території, що базується на нечіткому алгоритмі Сугено. Запропонована методика була апробована при аналізі інвестиційної привабливості існуючих туристично-рекреаційних об'єктів євро регіону „Верхній Прут”. Отримані в ході експерименту дані підтверджують основні макроекономічні тенденції розвитку даного євро регіону.

Разработан новый подход расчета комплексной оценки рекреационного потенциала территории, основанный на нечетком алгоритме Сугено. Предложенная методика была апробирована при анализе инвестиционной привлекательности существующих туристически-рекреационных объектов евро региона «Верхний Прут». Данные, полученные в ходе эксперимента, подтверждают основные макроекономические тенденции развития данного евро региона.

It is developed the new approach of the calculation of the integrated assessment of the recreational potential of territories, which is based on fuzzy algorithm Sugeno. The procedure proposed was approved with the analysis of the investment attractiveness of the existing tourist recreational objects of Euro-region "Upper Prut". Obtained in the course of experiment data confirm the basic macroeconomic trends of development of this Euro-region.

Туристична галузь є важливим чинником стабільного й динамічного збільшення надходжень до бюджету, істотного позитивного впливу на стан справ у багатьох галузях економіки (транспорт, торгівля, зв'язок, будівництво, сільське господарство тощо). Туризм сприяє підвищенню зайнятості населення, розвитку ринкових відносин, міжнародному співробітництву, залученню громадян до пізнання багатой природної та історико-культурної спадщини краю, збереженню екологічної рівноваги. В зв'язку з цим особливою важливістю прискореної розбудови туристичної інфраструктури має дослідження, спрямоване на визначення оптимальних розташувань туристично-рекреаційних систем з врахуванням соціокультурних, природно-рекреаційних, економічних та інших чинників.

В моделях функціонування рекреаційно-туристичних систем присутня невизначеність зумовлена з одного боку відсутністю точного опису процесів функціонування систем, з іншого в неспроможності оцінювати стани систем абсолютно точно, що затрудняє і в багатьох випадках унеможливає використання точних кількісних методів[1]. Використання фаззі-моделювання дозволяє отримувати більш адекватні результати в порівнянні з традиційними аналітичними моделями та алгоритмами керування. Широко поширеними класами нечіткого моделювання є контролери Мамдані та Сугено. Як було показано Вангом та Кастро дані нечіткі контролери являються універсальни-

ми апроксиматорами будь-якої неперервної функції на множині U з будь-якою точністю, якщо використовується набір n ($n \ll \infty$) правил продукцій[2]. В попередній роботі нами було доведено ефективність використання контролерів Мамдани та Сугено для визначення рекреаційного потенціалу території, що залежить від природних умов[3].

Мета даної роботи – побудова та апробація моделі визначення комплексного рекреаційного потенціалу території, що базується на нечіткому алгоритмі Сугено.

Наукова новизна – розробка нового підходу до комплексної оцінки рекреаційного потенціалу та застосування його для існуючих туристично-рекреаційних об'єктів.

Практична цінність статті визначається в наданні практичних рекомендацій інвесторам, щодо доцільності побудови та визначенні стратегії туристично-рекреаційних систем.

Здатність людського інтелекту приймати правильні рішення при наявності неповної й нечіткої інформації спонукало науковців до побудови математичного апарату, який в повній мірі зможе повторити дану здатність людини. Можна стверджувати, що побудова таких моделей і їхнє використання в прогресивних комп'ютерних системах представляє один з найважливіших напрямків сучасних інформаційних технологій.

Значний прогрес в цьому напрямку зроблено професором Каліфорнійського університету (Берклі) Лотфі А. Заде (Lotfi A. Zadeh)[4]. Його робота заклала основи моделювання наближених міркувань людини та стала початковим поштовхом до розвитку нової математичної теорії. Л. Заде розширив класичний термін множина, допустивши, що характеристична функція (функція приналежності елемента множини) може приймати будь-які значення в інтервалі $[0; 1]$, а не тільки значення 0 або 1. Такі множини були отримали назву нечіткі (fuzzy). Він визначив також ряд операцій над нечіткими множинами та запропонував узагальнення відомих методів логічного виводу *modus ponens* й *modus tollens*. Ввівши поняття лінгвістичної змінної й допустивши, що в якості її значень (термів) виступають нечіткі множини, Л. Заде створив апарат для опису деяких процесів інтелектуальної діяльності, що включають нечіткість і невизначеність виразів. Нечітка логіка забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу, а наявність математичних засобів відображення нечіткості вхідної інформації дозволяє побудувати моделі, адекватні реальності. А рішення, прийняте в результаті моделювання, базується на отриманих нечітких висновках.

Механізм нечітких виводів, що використовується в експертних і керуючих системах у своїй основі має базу знань, що сформована фахівцями-експертами предметної області або отримана в результаті навчання нейромережі, навчальна множина якої, в свою чергу базується на експериментальних даних, у вигляді сукупності нечітких предикатних правил виду:

Правило 1: якщо $x \in A_1$, тоді $y \in B_1$

Правило 2: якщо $x \in A_2$, тоді $y \in B_2$

.....

Правило N: якщо $x \in A_n$, тоді $y \in B_n$

де x – вхідна змінна, y – змінна висновку; A і B – функції приналежності, визначені відповідно на x і y . Знання експерта $A \rightarrow B$, що відбиває нечітке причинне відношення передумови й висновку, носить назву нечітке відношення R:

$$R = A \rightarrow B, \quad (1)$$

де " \rightarrow " називають нечіткою імплікацією.

Відношення R можна розглядати як нечітку підмножину прямого добутку $X \times Y$ повної множини передумов X і висновків Y . Таким чином, процес одержання (нечіткого) результату висновку B' з використанням спостереження A' і знання $A \rightarrow B$ можна представити у вигляді:

$$B' = A' \bullet R = A' \bullet (A \rightarrow B), \quad (2)$$

де " \bullet " – операція згортки.

Операцію імплікації в алгебрі нечітких множин можна реалізовувати по різному (при цьому звичайно буде різнитись отриманий результат), однак в будь-якому випадку нечіткий логічний висновок здійснюється в наступні чотири етапи [5].

1. Нечіткість (введення нечіткості, фазифікація, fuzzification). Функції приналежності, визначені на вхідних змінних, застосовуються до їхніх фактичних значень, для того щоб визначити ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

2. Логічний висновок. Обчислене значення істинності для передумов кожного правила застосовується до висновків кожного правила. Це приводить до однієї нечіткої підмножини, яка буде призначена кожній змінній висновку для кожного правила. В якості правила логічного висновку звичайно використовуються тільки операції \min (мінімум) або \prod (множення). При операції \min функція приналежності висновку "відтинається" по висоті, що відповідає обчисленому ступеню істинності передумови правила (нечітка логіка "I"). При операції множення функція приналежності висновку масштабується за допомогою обчисленого ступеня істинності передумови правила.

3. Композиція. Всі нечіткі підмножини, призначені кожній змінній висновку (у всіх правилах), поєднуються разом, щоб сформувати одну нечітку підмножину для кожної змінної висновку. При даному об'єднанні зазвичай використовуються операції \max (максимум) або \sum (сума). При операції \max комбінований висновок нечіткої підмножини конструюється як поточковий

максимум по всіх нечітких підмножинах (нечітка логіка "АБО"). У випадку операції суми комбінований висновок нечіткої підмножини конструюється як поточкова сума по всіх нечітких підмножинах, призначеним змінним висновку правилами логічного висновку.

4. Додатково може бути введений етап приведення до чіткості (дефазифікація, defuzzification), що використовується, коли доцільно перетворити нечіткий набір висновків у чітке число. Існує багато методів дефазифікації, однак більшості випадків чітке значення вихідної змінної визначається як центр тяжіння кривої (центроїдний метод), яка визначається на етапі композиції:

$$y = \frac{\int_{\Omega} x \cdot \mu_{\Sigma}(x) dx}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(x) dx}, \quad (3)$$

де Ω – область визначення функції $\mu_{\Sigma}(x)$.

Алгоритми нечіткого висновку відрізняються в основному видом правил нечіткої імплікації. В попередній роботі [3] ми довели можливість використання алгоритмів Мамдані та Сугено для визначення рекреаційного потенціалу. Було показано, що результати, отримані цими методами не сильно відрізняються між собою та добре корелюють з оцінками експертів. Тому в подальших розрахунках ми використовували один з цих алгоритмів, а саме алгоритм Сугено з гаусівськими функціями приналежності. Вибір цього алгоритму обґрунтований тим, що при наявності експериментальних баз знань доцільним стане використання гібридних нейронних мереж ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), в основі яких лежить метод Сугено.

Алгоритм Сугено:

Нехай база знань містить лише два нечіткі правила виду:

Правило1: якщо $x \in A_1$ і $y \in B_1$, тоді $z_1 = a_1x + b_1y$,

Правило2: якщо $x \in A_2$ і $y \in B_2$, тоді $z_2 = a_2x + b_2y$,

1. Нечіткість: знаходяться ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

$$\mu_{A1}(x0), \mu_{A2}(x0), \mu_{B1}(y0), \mu_{B2}(y0). \quad (4)$$

2. Нечіткий висновок: знаходяться рівні "відсікання" для передумов кожного із правил (з використанням операції min)

$$\alpha_1 = \mu_{A1}(x0) \wedge \mu_{B1}(y0), \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A2}(x0) \wedge \mu_{B2}(y0). \quad (6)$$

Потім знаходяться „відсічені” функції приналежності

$$z_1^* = a_1 x_0 + b_1 y_0, \quad (7)$$

$$z_2^* = a_2 x_0 + b_2 y_0, \quad (8)$$

3. Знаходиться чітке значення змінної виводу:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1^* + \alpha_2 z_2^*}{\alpha_1 + \alpha_2}. \quad (9)$$

Постановка задачі визначення рекреаційного потенціалу територій та експериментальні дослідження.

Попередні дослідження, спрямовані на пошук рекреаційних зон, дали можливість визначити оптимальні місця для розміщення туристично-рекреаційних комплексів за наявним рекреаційним потенціалом, який базувався на історико-культурних та природних об'єктах [6]. Разом з тим, процес виокремлення зображених на картах територій не враховував ряду показників, зокрема, таких, як: розмір необхідних інвестицій, умови оподаткування, наявність конкуренції, вплив контролюючих органів та ін. Визначення залежності рекреаційного потенціалу від вказаних чинників являє собою складну багато-критеріальну задачу, а відповідні аргументи представляють собою дані з великим ступенем нечіткості. Згідно експертних оцінок, рекреаційний потенціал залежить від 14 основних вхідних параметрів, кожен з яких можна представити у вигляді нечіткої лінгвістичної змінної. База знань, що містить нечіткі продукційні правила, має містити набір всіх можливих комбінацій термів вхідних параметрів. Що становить:

$$N = \prod_{i=1}^{14} I_i, \quad (10)$$

де N – необхідна кількість нечітких продукційних правил, I_i – кількість термів на яких визначена i -та лінгвістична змінна. В самому простому випадку, коли лінгвістичні змінні визначені 2-ма термами, необхідна кількість нечітких продукційних правил становитиме $N = 2^{14} = 16\,384$.

Нами було запропоновано розділити вхідні параметри на чотири групи за спільними ознаками: C_1 – „Природні умови”, C_2 – „Кліматичні умови”, C_3 – „Економічні умови”, C_4 – „Організаційні умови”.

Згідно думки експертів рекреаційний потенціал визначених груп залежить від нечітких лінгвістичних змінних наведених в табл.1.

По кожній з груп, згідно алгоритму Сугено, знаходяться рекреаційні потенціали. Вони в свою чергу слугують вхідними параметрами узагальнюючої нечіткої експертної системи, що визначає комплексну оцінку рекреаційного

потенціалу C (рис. 1). Запропонований підхід дозволяє значно зменшити необхідну кількість продукційних правил.

Для побудови нечітких експертних правил продукцій використовувались загальноприйняті міжнародні скорочення для назв (Z – нуль, близько до нуля, PS – позитивне мале, PM – позитивне середнє, PB – позитивне велике)[8]. Кількісна оцінка даних термів проводилась по п'ятибальній шкалі. Параметри функцій приналежності для вищезгаданих термів наведені в таблиці 2.

Параметри функцій приналежності вибрані таким чином, щоб в точках перетину функції приналежності сусідніх термів приймали значення 0,5. Нечіткі продукційні правила будувались згідно експертних оцінок.

Таблиця 1

Перелік лінгвістичних змінних, що використовуються для визначення комплексного рекреаційного потенціалу

Група	Лінгвістична змінна	Опис лінгвістичної змінної
C_1	C_{11}	лікувальні ресурси
	C_{12}	унікальна природа
	C_{13}	водні рекреаційні ресурси
	C_{14}	рельєф
C_2	C_{21}	температура повітря
	C_{22}	атмосферний тиск
	C_{23}	середньорічна тривалість снігового покриву
C_3	C_{31}	рівень необхідних інвестицій
	C_{32}	умови оподаткування
	C_{33}	наявність конкуренції
	C_{34}	очікуваний рівень рентабельності
C_4	C_{41}	корупція
	C_{42}	ліцензування та дозвіл на певний вид діяльності
	C_{43}	вплив контролюючих органів

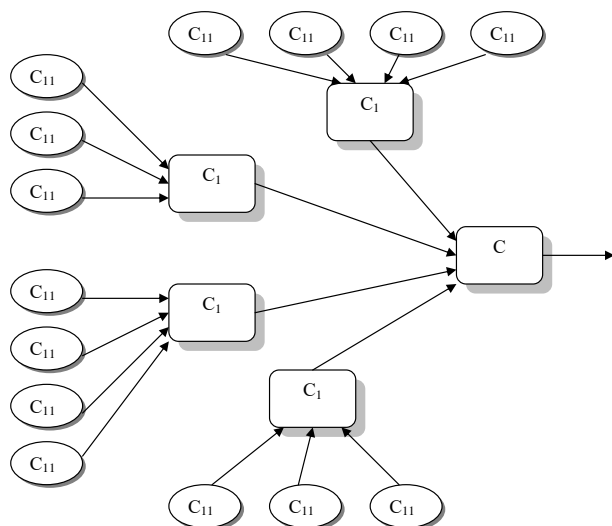


Рисунок 1 – Структурна схема розрахунку комплексного рекреаційного потенціалу

Таблиця 2

Параметри функцій приналежності

Лінгвістична змінна	Терм	Параметри функцій приналежності
$C_1, C_2, C_3, C_4, C_{11}, C_{13}, C_{22}, C_{32}, C_{41}, C_{42}$	PB	[2.123 5]
	Z	[2.123 0]
$C_{12}, C_{14}, C_{21}, C_{23}, C_{31}, C_{33}, C_{34}, C_{43}$	PB	[1.062 5]
	PM	[1.062 2.5]
	Z	[1.062 0]
C	PB	5
	PM	3.333
	PS	1.667
	Z	0

Визначення рекреаційного потенціалу проводилось для рекреаційних об'єктів євро регіону „Верхній Прут”, що знаходяться в околі екстремумів ізоліній рекреаційного потенціалу визначених в роботі [6]. Значення вхідних лінгвістичних змінних були надані Відділом з питань туризму Чернівецької ОДА. Результати експерименту по кожній групі в порівнянні з експертними оцінками наведені та комплексний рекреаційний потенціал досліджуваних ТРО наведений в таблиці 3.

Дані, наведені в таблиці 3, показують добру кореляцію експертних оцінок з розрахованими рекреаційними потенціалами, що дозволяє використовувати останні для подальшого аналізу.

З таблиці 3 видно, що проведене дослідження підтверджує та доповнює попередні розрахунки. Так, за нашою методикою, оптимальними територіями для розміщення об'єктів сфери рекреаційних послуг було визнано гірські та передгірні райони українських та румунських Карпат, тоді як найменш сприятливими – молдовські регіони та деякі віддалені точки Івано-Франківської та Чернівецької областей. Так, найменш привабливими в рекреаційно-туристичному відношенні є молдовські учасники єврорегіону «Верхній Прут» – Белцький (0,8) та Єдинецький (0,8) уезди, тоді як оптимальними територіями для розвитку сфери рекреаційних послуг можна вважати в Україні райони Брусниці (4,1), Яремчі (3,5), Мигова (3,4), та в Румунії – райони поблизу Ватра-Дорней (3,6), Гура-Гуморулуй (3,6) та Сучави (3,3). Відсутність максимальних показників (0 і 5) підтверджує той факт, що практично неможливо знайти територію, в якій всі умови розвитку були б повністю несприятливими або ідеальними.

Таблиця 3

Рекреаційний потенціал груп C_i та комплексний рекреаційний потенціал C основних ТРО єврорегіону „Верхній Прут” в порівнянні з експертними оцінками

<i>Рекреаційно-туристичний об'єкт</i>	Природні умови		Кліматичні умови		Економічні умови		Організаційні умови		Комплексний рекреаційний потенціал
	<i>Експертна оцінка</i>	<i>Рекреаційний потенціал</i>	<i>Експертна оцінка</i>	<i>Рекреаційний потенціал</i>	<i>Експертна оцінка</i>	<i>Рекреаційний потенціал</i>	<i>Експертна оцінка</i>	<i>Рекреаційний потенціал</i>	
Бельці	1	0,9	3	2,1	1	0,9	2	1,7	0,8
Ботошани	2	1,8	3	2,1	2	1,8	3	3	2,1
Брусниця	4	4,7	3	2,9	4	4,7	3	4,5	4,1
Ватра-Дорней	5	4,1	4	4,1	5	4,1	4	3,5	3,6
Вашківці	1	1,3	3	2,9	1	1,3	2	3,7	2,8
г. Говерла	3	1,9	3	1,8	3	1,9	2	3,9	2,8
Гура-Гуморулуй	3	2,8	4	3,7	3	2,8	4	4,2	3,9
Єдинці	1	0,9	2	2,1	1	0,9	1	1,7	0,8
Івано-Франківськ	2	3,5	3	2,9	2	3,5	3	3,8	3
Мигово	4	2,2	4	3	4	2,2	4	4,2	3,4
Рогатин	0	0,4	2	2,1	0	0,4	1	2,1	1
Сучава	2	2,5	2	2,1	2	2,5	3	4,5	3,3
Чернівці	2	3,6	2	2,1	2	3,6	3	3,8	3
Яремче	5	4,5	4	3,7	5	4,5	3	3,5	3,5

Разом з тим, слід зазначити, що в процесі дослідження було виокремлено ряд територій, які знаходяться на середньому рівні, наприклад, Івано-Франківськ (3), Чернівці (3), Вашківці (2,8) тощо. На нашу думку, на цих територіях доцільно було б вдосконалювати вже існуючі об'єкти сфери рекреаційних послуг і таким чином більш повно використовувати наявний рекреаційний потенціал. Крім того, на таких територіях необхідно провести додаткові дослідження, обравши для цього інші існуючі умови та тенденції.

Отже можна прийти до висновку: вперше за допомогою технологій нечіткого моделювання розраховані комплексні рекреаційні потенціали основних туристично-рекреаційних об'єктів євро регіону „Верхній Прут”. Запропонована схема та методика розрахунку рекреаційного потенціалу територій, що базується на нечіткому моделюванні за алгоритмом Сугено, добре узгоджується з наявними даними та думкою експертів. Отримані в ході експерименту дані підтверджують основні макроекономічні тенденції розвитку євро регіону „Верхній Прут”. Запропонований нечіткий контролер може використовуватись для побудов карт рекреаційних потенціалів та визначенні інвестиційних стратегій регіонів.

Список літератури: 1. Ma, S., Feng, J., Cao, H. Fuzzy model of regional economic competitiveness in GIS spatial analysis: Case study of Gansu, Western China // *Fuzzy Optim. Decis. Making*, 2006. – №5, p.99–111. 2. Зайченко, Ю.П., Фатма, С., Титаренко, К.М., Титаренко, Н.В. Исследование нечетких нейронных сетей в задачах макроэкономического прогнозирования // *System Research & Information Technologies*, 2004. – #2. – Р. 70-86. 3. Виклок, Я.І. Використання нечіткої логіки для визначення рекреаційного потенціалу території // Вісник Національного Університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі, 2007. - В друці. 4. Zadeh, L.A. Fuzzy Sets // *Information and Control*, 1965. – #8. 5. Дьяконов, В.П., Круглов, В.П. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 Simulink 5/6: Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. – М.: Солон-Пресс, 2006. – 456 с. 6. Кифяк, В.Ф., Виллок, Я.І., Кифяк, О.В. Визначення оптимальних рекреаційно-туристичних зон в умовах транскордонного співробітництва // Формування ринкових відносин в Україні, 2007 – №1 (68), с.132-136. 7. Круглов, В.В., Дли, М.И., Голунов, Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. // М.: Издательство Физ.-мат. литературы, 2001. – 224 с. 8. А.В. Леоненков. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH // СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

Поступила в редколлегию 30.11.07